

Kolin B., Milić G., Golić I. 2012. *Velocity and uniformity of air circulation in conventional kilns for sawn timber*. Bulletin of the Faculty of Forestry 106: 129-140.

Бранко Колин
Горан Милић
Игор Голић

UDK: 674.047.3
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1206129K

БРЗИНА И РАВНОМЕРНОСТ ЦИРКУЛАЦИЈЕ ВАЗДУХА У КОНВЕНЦИОНАЛНИМ КОМОРНИМ СУШАРАМА ЗА РЕЗАНУ ГРАЂУ

Извод: У раду су приказани резултати истраживања брзине циркулације ваздуха у конвенционалним коморним сушарама за резану грађу и њихов утицај на равномерност коначне влажности. Добијени подаци показују да су брзине ваздуха (између $0.8 - 1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) значајно мање од оних које су оптималне за сушење резане грађе четинара ($3 - 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Ово за последицу има смањење капацитета инсталације за сушење, повећање потрошње енергије (топлотне и електричне), а самим тим и повећање цене сушења. Није установљена корелациона зависност између брзине циркулације ваздуха и коначне влажности грађе услед продуженог трајања сушења. У раду су дати предлози мера за отклањање утврђених недостатака.

Кључне речи: циркулација ваздуха, конвенционално сушење дрвета, уштеда енергије

VELOCITY AND UNIFORMITY OF AIR CIRCULATION IN CONVENTIONAL KILNS FOR SAWN TIMBER

Abstract: This paper presents the results of a research of velocity of air circulation in the conventional kiln drying of sawn timber and its influence on the uniformity of final moisture content. The data showed that the air velocity (between $0.8 - 1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) is significantly lower than the one that is optimal for timber drying of coniferous species ($3 - 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). This results in a reduction in the capacity of installations for drying, increased energy (thermal and electrical) consumption and thereby increase in the cost of drying. The correlation between the speed of air circulation

др Бранко Колин, ред. професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд, (branko.kolin@gmail.com)

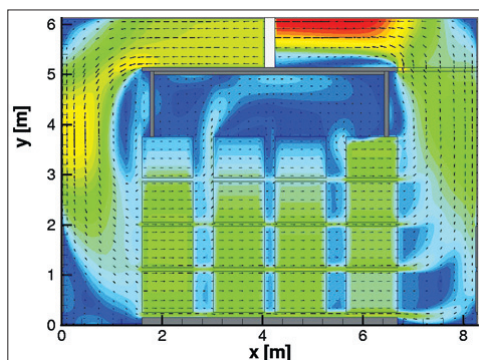
др Горан Милић, доцент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд
мр Игор Голић, Власеница

and the final MC of timber due to prolonged drying was not established. Recommendations that should eliminate the identified deficiencies are also given.

Key words: air circulation, conventional kiln drying, energy saving

1. УВОД

На ток и квалитет сушења резање грађе у конвенционалним сушарама у највећој мери утичу три фактора: температура, релативна влажност и брзина циркулације влажног ваздуха. У пракси постоје (на основу научних испитивања) препоруке колика треба да буде оптимална брзина циркулације ваздуха. Она, пре свега, зависи од тога да ли се суши лишћарска или четинарска грађа, тако да се код лишћара препоручују брзине $1,5-2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, док код четинара, с обзиром на једноставнију анатомску структуру, брзина може да буде и до $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Simpson, 1997). Превелика брзина ваздуха може довести до пребрзог сушења нарочито у почетним фазама процеса што утиче на појаву разних грешака узрокованих напрезањима која се јављају у дрвету (Wengert, 2006). Са друге стране, недовољна брзина ваздуха у сушари узрокује недовољну размену топлоте и влаге између ваздуха и дрвета, сушење се успорава, а коначна влажност грађе је неуједначена (Steiner, 2008, Lamb, 2002). За квалитет осушеног дрвета је, поред брзине, битна и равномерност циркулације ваздуха у свим зонама сушаре, односно по читавом слободном профилу сложаја кроз које ваздух струји. Неопходан услов је и да вентилатори производе довољне количине ваздуха у комори.



Слика 1. Дистрибуција ваздуха у индустријским конвенционалним сушарама приказана брзином од $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (плаво), до $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (црвено) (Riepen, Paaruhuis, 1999)

Figure 1. Air distribution in industrial conventional kilns is shown at a speed of $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (blue) up to the speed of $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (red) (Riepen, Paaruhuis, 1999)

Основни задатак циркулације ваздуха током сушења грађе је предаја топлоте површини грађе, уз истовремено апсорбовање влаге са површине дрвета. Површина грађе на почетку сушења има влажност изнад границе хигроскопности, па ће повећање брзине ваздуха резултирати повећаним испаравањем влаге са површине, односно већом брзином сушења. Већа брзина ваздуха омогућава интензивнији пренос топлоте на резану грађу, брже испаравање влаге са површине и већи проток ваздуха кроз отворе летвица за формирање сложаја („шпандле“). У даљем току сушења површина грађе постаје сувља, доминатан утицај на

брзину сушења има дифузија влаге, а не испаравање са површине и тада брзина циркулације почиње да има мањи утицај. На крају, како површина грађе постаје сасвим сува (просечна влажност испод 20%), брзина ваздуха готово да нема утицаја на брзину сушења (Wengert, 2006).

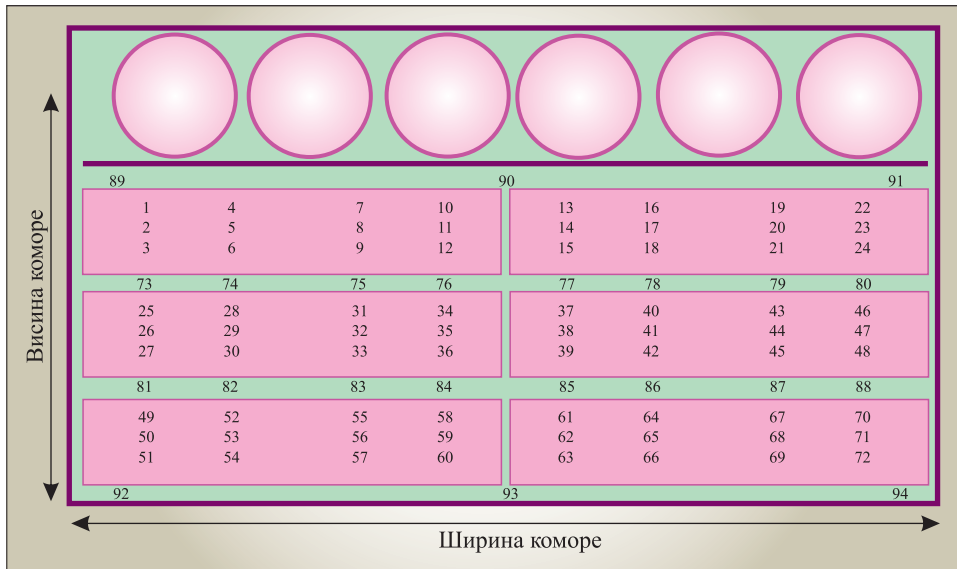
Riepen и Paarluis (1999) су мерењима доказали неједнакост брзина циркулације ваздуха у конвенционалним сушарама (слика 1). Највеће брзине ($5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) постижу се одмах иза вентилатора, али услед аеродинамичких отпора опадају и на $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Циљ овог рада био је да се испита брзина и равномерност циркулације ваздуха у индустријским конвенционалним сушарама коморног типа. Недостатак реалних индустријских података је, између осталог, довео до постојања два врло битна проблема. Један је да произвођачи сушара, у циљу снижавања цене опреме уграђују вентилаторе недовољне снаге чиме се онемогућава постизање тражене брзине и равномерности циркулације ваздуха (Allegreti, Negri, 2000). Други проблем је неселективна уградња фреквентних осцилатора (инвертера) чија је улога да смање број обртаја вентилатора (тима и брзину струјања) и на тај начин уштеде електричну енергију у деловима процеса када брзина ваздуха има мали утицај на брзину сушења. Уградња инвертера је упитна уколико претходно нису испуњени технолошки захтеви који се постављају пред вентилаторе (адекватна снага и капацитет). Реални подаци о брзинама и равномерности циркулације би омогућили и спровођење мера које могу отклонити недостатке. Додатни циљ овог рада је утврђивање евентуалне корелације између брзине ваздуха и равномерности коначне влажности осушене грађе као једног од основних параметара квалитета сушења.

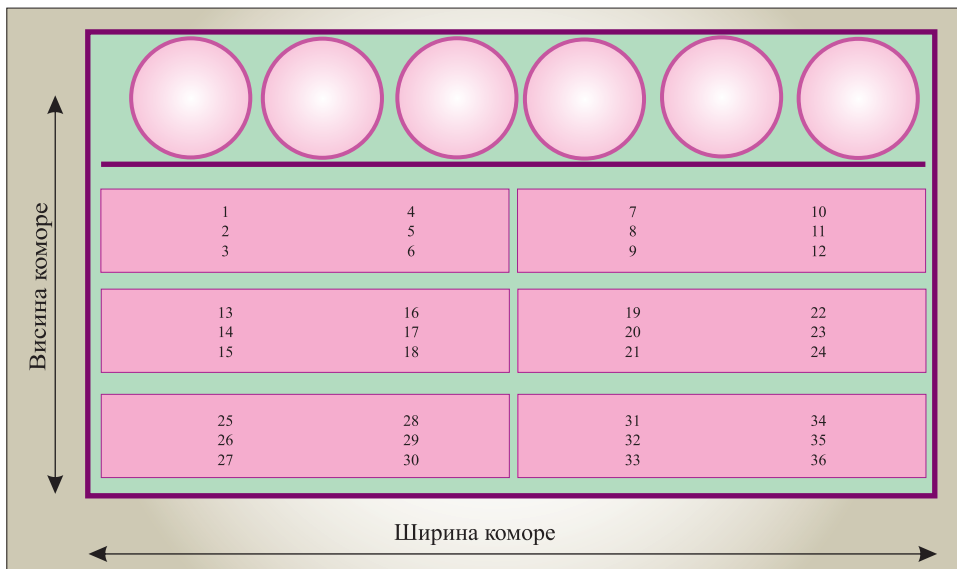
Резултати овог експеримента треба да помогну корисницима да технички и технолошки унапреде постојеће инсталације у циљу постизања бољих резултата вештачког сушења резане грађе, што би, у крајњем, за резултат требало да има смањење трошкова сушења, односно повећање профита у производњи. Истовремено, произвођачима опреме би се могло указати на одређене недостатке када је циркулација ваздуха у питању.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Мерења су обављена у две конвенционалне коморе италијанског произвођача "Verma", капацитета 70 и 65 m^3 . Коморе су опремљене са по 6 аксијалних вентилатора снаге 3,2 kW и пречника вентилаторског кола 700 mm. Мерења су у свакој од комора обављена у по три шарже да би се омогућила статистичка обрада података. Сва мерења су обављена при сушењу грађе смрче (*Picea abies*, L.) номиналне дебљине 24 mm, ширине од 95 – 110 mm и дужине 4 m, а дебљина/ширина летвица, израђених од исте врсте била је 25 x 25 mm.



Слика 2. Шема распореда мерних тачака за брзину циркулације ваздуха у коморама
Figure 2. Scheme of arrangement of the measuring points for the velocity of air circulation in chambers



Слика 3. Шема распореда мерних тачака за коначну влажност резане грађе у коморама
Figure 3. Scheme of arrangement of the measuring points for the final moisture content of timber in chambers

Мерење брзине циркулације вршено је анемометарском сондом произвођача "Ahlborg" која се користи уз инструмент, тзв. даталогер, "Almeto2590" и то на излазној страни ваздуха из сложаја по унапред одређеној схеми (слика 2). На свакој од палета мерења су обављена на 12 тачака, а додатно у просторима између палета, као и у простору између врха сложаја и међутаванице, испод сложаја, и између сложаја и зидова коморе (слика 2). Мерења су у свакој шаржи обављана на почетку сушења, а у две шарже (означене са шаржа 1 и шаржа 4) и на крају сушења како би се одредило да ли утезање дрвета има ефекта на брзину струјања ваздуха. На овај начин мерења су обављана укупно 8 пута.

На крају две шарже (такође шарже 1 и 4) мерена је влажност осушене грађе на 36 мерних тачака (слика 3) са циљем да се одреди да ли постоји корелација између равномерности циркулације ваздуха и униформности влажности осушене резане грађе. Влажност је мерена отпорним електровлагомером "Нигос" са сондом са дубинским (игличастим) електродама.

За измерене вредности брзине ваздуха и коначне влажности грађе израчунате су средње вредности и стандардне девијације, као и коефицијенти варијације, што је омогућило потпунију анализу резултата. Додатно, извршено је тестирање значајности разлика између брзина ваздуха на почетку и на крају сушења, гледано по ширини и по висини коморе.

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Брзина циркулације ваздуха

У табели 1 приказани су статистички подаци брзине циркулације у $m \cdot s^{-1}$ (СР = средња вредност и СТД = стандардна девијација) по висини комора за све шарже, док су у табели 2 приказани статистички подаци (СР и СТД) по ширини комора. Приказани су само резултати мерења између тавана дасака.

Нису утврђене значајне разлике у брзини циркулације између шаржи посматрано по висини коморе. У свих шест шаржи (8 мерења) приметно је да брзина опада од пода према међутаваници сушаре. Минимална просечна брзина је износила $0,81 m \cdot s^{-1}$ (шаржа 2, треће мерно место одозго), а максимална $1,26 m \cdot s^{-1}$ (шаржа 6, осмо мерно место одозго). Брзине су по ширини коморе уједначене што потврђују релативно мале вредности стандардних девијација ($0,03-0,20 m \cdot s^{-1}$). Код шаржи где су мерења вршена и на крају сушења измерене су нешто веће брзине (измерене су веће просечне брзине на 7 од 9 мерних места по висини код једне коморе, а на свих 9 мерних места код друге). Утврђене разлике између мерења на почетку и на крају сушења су премале да би имале икаквог ефекта на брзину или квалитет сушења. Ово потврђују и резултати t теста којим је испитана разлика између брзине ваздуха на почетку и на крају сушења, посматрано по висини коморе. За шаржу 1 утврђено је да нема сигнификантне разлике ($t=0,650$) у брзинама ваздуха на почетку

($CP=1,003 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $CTD=0,131 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) и на крају сушења ($CP=1,042 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $CTD=0,122 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Подаци за шаржу 4 такође показују да нема сигнификантне разлике ($t=1,65$) у брзинама ваздуха на почетку ($CP=1,012 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $CTD=0,083 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) и на крају сушења ($CP=1,073 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $CTD=0,073 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Генерално је шаржа 4 имала уједначенији профил брзина ваздуха по висини коморе, али је код обе шарже забележено благо смањење варијација на крају сушења (кофицијент варијације смањен са 13,1% на 11,7% у шаржи 1, односно са 8,2% на 6,8% у шаржи 4).

Табела 1. Статистички подаци брзине циркулације ваздуха ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) по висини комора (све шарже)

Table 1. Statistical data for air circulation velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) by kiln heights (all batches)

Мерна тачка по висини	шаржа 1 (почетак)		шаржа 1 (крај)		шаржа 2		шаржа 3		шаржа 4 (почетак)		шаржа 4 (крај)		шаржа 5		шаржа 6	
	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD
1	0,82	0,06	0,85	0,09	0,84	0,12	0,93	0,10	0,88	0,06	0,91	0,07	0,87	0,07	0,89	0,05
2	0,83	0,11	0,89	0,13	0,84	0,06	0,84	0,08	0,93	0,10	0,96	0,08	0,89	0,05	0,94	0,10
3	0,85	0,10	0,91	0,07	0,81	0,09	0,88	0,11	0,88	0,09	0,92	0,09	0,88	0,13	0,94	0,07
4	1,03	0,15	0,94	0,08	0,83	0,10	1,02	0,11	1,02	0,08	1,07	0,07	1,03	0,06	1,06	0,04
5	1,01	0,20	1,09	0,12	0,89	0,10	1,00	0,14	0,97	0,12	1,10	0,08	1,00	0,11	1,09	0,07
6	0,99	0,17	1,12	0,11	1,01	0,10	1,01	0,05	1,03	0,09	1,07	0,07	1,05	0,10	1,12	0,09
7	1,14	0,15	1,16	0,13	1,07	0,17	1,13	0,11	1,16	0,06	1,22	0,03	1,19	0,06	1,24	0,06
8	1,20	0,16	1,19	0,19	1,01	0,08	1,18	0,09	1,12	0,08	1,19	0,13	1,11	0,05	1,26	0,08
9	1,16	0,08	1,23	0,18	1,08	0,09	1,15	0,07	1,12	0,07	1,22	0,04	1,20	0,07	1,24	0,08

Табела 2. Статистички подаци брзине циркулације ваздуха ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) по ширини комора (све шарже)

Table 2. Statistical data for air circulation velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) by kiln widths (all batches)

Мерна тачка по ширини	шаржа 1 (почетак)		шаржа 1 (крај)		шаржа 2		шаржа 3		шаржа 4 (почетак)		шаржа 4 (крај)		шаржа 5		шаржа 6	
	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD	CP	CTD
1	1,12	0,20	1,16	0,14	0,99	0,11	1,06	0,12	0,99	0,11	1,13	0,13	1,03	0,18	1,11	0,16
2	1,06	0,25	1,07	0,24	0,87	0,12	1,11	0,16	0,87	0,12	1,07	0,15	1,00	0,15	1,11	0,15
3	0,93	0,21	1,01	0,14	0,90	0,14	1,01	0,18	0,90	0,14	1,06	0,16	1,02	0,18	1,08	0,19
4	1,03	0,13	1,00	0,15	0,95	0,09	0,99	0,16	0,95	0,09	1,12	0,13	1,04	0,12	1,10	0,13
5	1,06	0,22	1,13	0,29	0,98	0,25	1,02	0,17	0,98	0,25	1,10	0,19	1,03	0,15	1,10	0,15
6	0,98	0,11	0,97	0,13	0,88	0,12	1,03	0,13	0,88	0,12	1,01	0,12	1,02	0,15	1,06	0,17
7	0,95	0,16	0,99	0,10	0,90	0,15	0,92	0,14	0,90	0,15	1,05	0,10	1,00	0,17	1,06	0,15
8	0,92	0,15	1,00	0,16	0,97	0,13	0,96	0,10	0,97	0,13	1,05	0,16	1,05	0,13	1,07	0,18

Посматрано по ширини комора, просечна брзина се кретала од $0,87 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (шаржа 2, друго мерно место слева на десно) до $1,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (шаржа 1 на крају сушења, прво мерно место слева). Нема значајних одступања у резултатима ни између комора, а ни по ширини појединачних комора. Стандардне девијације су очекивано веће што показује да су значајније варијације у брзини ваздуха по висини него по ширини комора. У шаржама где је мерење поновљено на крају сушења нису регистроване сигнификантне разлике у брзинама ваздуха. За шаржу 1 по ширини коморе, просечне брзине на почетку сушења ($CP=1,006 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $STD=0,178 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) се не разликују ($t=0,11$) од мерења на крају сушења ($CP=1,041 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $STD=0,168 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Слично, ни код шарже 4 нема сигнификантних разлика ($t=2,044$) између мерења на почетку ($CP=0,930 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $STD=0,139 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) и на крају сушења ($CP=1,074 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $STD=0,142 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). И у овом случају је код обе шарже забележено благо смањење варијација брзине на крају сушења (коэффициент варијације смањен са 17,8% на 16,2% у шаржи 1, односно са 14,9% на 13,3% у шаржи 4).

3.2. Коначна влажност грађе

У табели 3 су приказани статистички подаци за измерене влажности грађе у % (CP = средња вредност и STD = стандардна девијација) по висини комора за прву шаржу у обе коморе (шарже 1 и 4), док су у табели 4 приказани статистички подаци за измерене влажности грађе у % (CP и STD) за прву шаржу по ширини у обе коморе.

Просечна влажност посматрано по висини коморе у шаржи 1 је износила 8,14% ($STD=0,82\%$; коэффициент варијације 10,1%), а у шаржи 4 такође 8,14% ($STD=0,85\%$; коэффициент варијације 10,4%).

Просечна влажност посматрано по ширини коморе у обе шарже је такође износила 8,14% уз нешто већу варијацију (у шаржи 1: $STD=1,06\%$, коэффициент варијације 13,0%; у шаржи 4: $STD=1,11\%$, коэффициент варијације 13,7%).

Табела 3. Статистички подаци влажности грађе (%) по висини комора

Table 3. Statistical data for final MC (%) of timber by kiln heights

Мерна тачка по висини	шаржа 1		шаржа 4	
	CP	STD	CP	STD
1	8,33	0,97	8,05	0,71
2	7,63	1,09	8,00	1,06
3	8,38	0,65	9,58	0,58
4	8,10	0,58	7,65	1,02
5	8,38	1,04	7,95	1,59
6	8,70	0,55	7,65	0,79
7	6,75	0,30	7,50	0,32
8	8,58	1,01	8,73	0,72
9	8,40	1,21	8,15	0,84

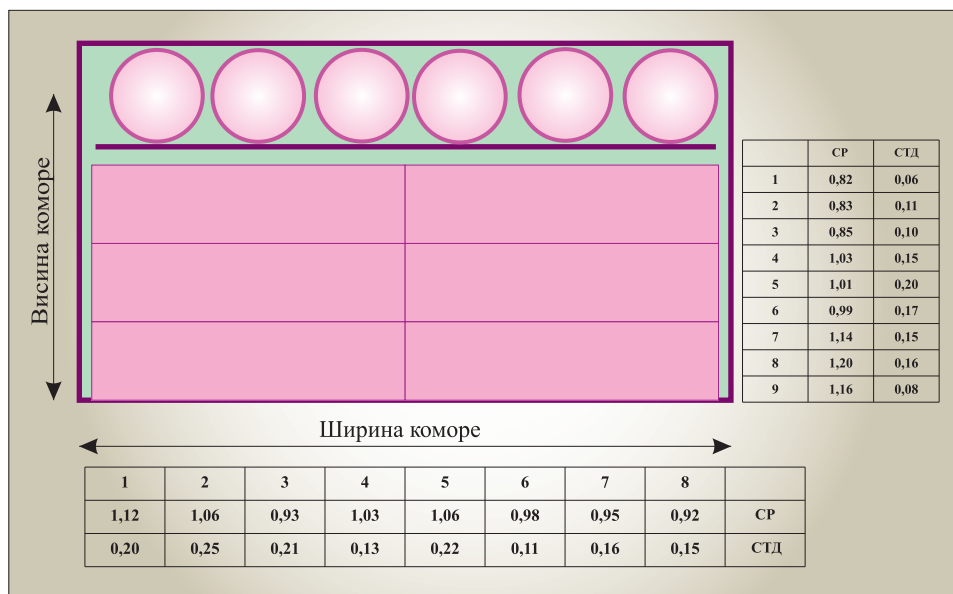
Табела 4. Статистички подаци влажности грађе (%) по ширини комора

Table 4. Statistical data for final MC of timber by kiln widths

Мерна тачка по висини	шаржа 1		шаржа 4	
	CP	STD	CP	STD
1	8,03	0,97	8,42	0,95
2	7,77	1,15	7,73	0,95
3	8,24	0,92	8,27	1,15
4	8,50	1,19	8,13	1,41

4. ДИСКУСИЈА

С обзиром на бројност добијених података, анализа резултата је фокусирана на само једну шаржу (шаржа 1, на почетку сушења), јер су слични подаци добијени и у свим осталим шаржама на којима су мерења вршена. На слици 4 је дат шематски приказ коморе са просечним вредностима брзине ваздуха по висини и ширини коморе.



Слика 4. Средње вредности и стандардне девијације брзине циркулације ваздуха ($m \cdot s^{-1}$) по висини и ширини сложаја у комори (прва шаржа)

Figure 4. Mean and standard deviation of the velocity of circulation of air ($m \cdot s^{-1}$) per height and width of the stacks in the chamber (first batch)

Брзине циркулације ваздуха мерене између ”тавана” дасака (слика 4) биле су у дијапазону од $0,82$ до $1,20 m \cdot s^{-1}$, при чему су екстремне просечне вредности забележене по висини коморе. Као што је већ поменуто, то је показатељ да је варијација брзине ваздуха по висини коморе значајно више изражена у односу на ширину коморе. Уочљиво је да су најмање вредности брзине регистроване у горњој трећини коморе (мерења на највишој, трећој палети). Ова неравномерност би се у значајној мери могла умањити убацивањем тзв. усмеривача ваздуха који су постали стандардна опрема код неких произвођача. Може се констатовати да је равномерност брзине циркулације посматрано по ширини коморе врло добра. Ипак, овај закључак се односи на тренутну ситуацију, односно за вредности брзине које су значајно ниже од одптималних. Може се са сигурношћу очекивати да би

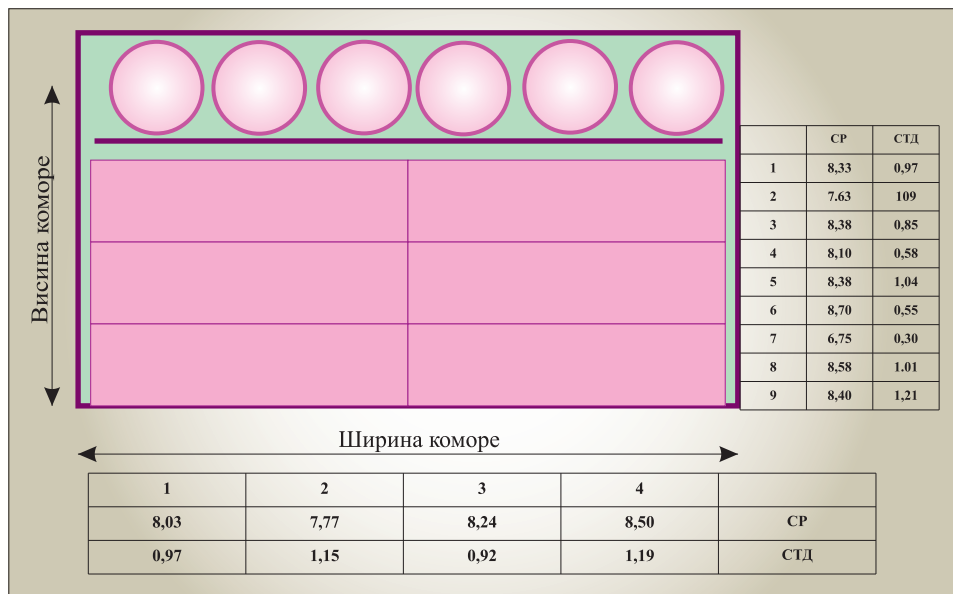
варијација брзине циркулације и по висини и по ширини коморе била већа уколико би брзине ваздуха у сушари биле изнад $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Измерене вредности брзине ваздуха између самих палета су очекивано веће него између тавана дасака и крећу се од $1,41$ до $1,95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, а изнад горњег слојаја и међутаванице, односно између доњег слојаја и пода сушаре од $1,66$ до $2,84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Објашњење веће брзине у овим просторима је у већим растојањима између палета (висина лега око 100 mm), односно између палета и међутаванице (око 150 mm) у односу на размак између дасака. У сличним дијапазонима кретале су се величине брзине циркулације и за остале шарже у обе сушаре.

Од пресудног значаја за процену квалитета циркулације ваздуха су вредности добијене између "тавана" дасака, а утврђено је да су оне значајно мање од оних који се у литератури препоручују за сушење чамове грађе у конвенционалним сушарама, односно од 3 до $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ниже брзине за последицу имају продужавање трајања сушења, односно смањење капацитета инсталација за сушење уз истовремено значајно повећање потрошње топлотне и електричне енергије и, самим тим, и цене коштања сушења. У овом случају је јасно да утврђене мале брзине циркулације нису последица лошег слагања (дасака унутар палета и самих палета), већ је доминантан узрок у самој конструкцији, односно карактеристикама вентилатора и аеродинамици коморе. Груба процена је да је укупна снага вентилатора у коморама ($19,2 \text{ kW}$) нижа за око $20\text{-}25\%$ од оптималне за ове величине комора. Избором аксијалних вентилатора адекватне конструкције, односно производног капацитета и укупног притиска који они дају ради постизања оптималних брзина – већих од $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, омогућило би се брже сушење, а тиме и далеко превазишле „уштеде“ које се привидно праве коришћењем вентилатора мање снаге. Ово је нарочито приметно код сушења четинарске грађе где је успоравање процеса у првим фазама сушења драстично, а као последица недовољне брзине циркулације. Тек коришћењем вентилатора одговарајућих карактеристика и постављањем усмеривача ваздуха би се испунили технолошки услови које тражи сушење четинарске грађе. Други корак би тада могао бити уградња инвертера који могу смањити утрошак електричне енергије и до 35% (K litzke, B atista, 2008). Алтернативно, на брзину циркулације се донекле може утицати променом дебљине летвица, односно тање летвице значе и нешто већу брзину циркулације при непромењеним осталим условима (S alin 2005).

Незнатно повећана брзина циркулације ваздуха на крају сушења (до $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) указује да утезање дрвета, које се дешава током сушења, не утиче значајно на повећање брзине ваздуха, што потврђује и непостојање сигнификантних разлика између брзина мерених на почетку и на крају сушења. Ова констатација се односи само на конкретан случај сушења грађе смрче, јер је познато да смрча има најмањи коефицијент утезања и укупно утезање у односу на остале врсте дрвета. Било би и научно, а и стручно интересантно ово истражити код сушења букове резане грађе, с обзиром да буковина има највеће коефицијенте утезања од свих домаћих индустријских врста.

На слици 5 приказане су средње вредности и стандардне девијације коначне влажности резане грађе (%) за прву шаржу на почетку сушења.



Слика 5. Средње вредности и стандардне девијације коначне влажности букове грађе (%) по висини и ширини сложаја у комори (прва шаржа)

Figure 5. Mean and standard deviation of final moisture content of beech timber (%) per height and width of the stacks in the chamber (first batch)

Из података (слика 5) је уочљиво да је измерена коначна влажност (било по ширини, било по висини коморе) углавном износила (просечне вредности мерења) од 6,8 до 8,7% на основу чега може да се закључи да је равномерност коначних влажности врло добра. Ово је пре свега последица продуженог трајања сушења и правилног одабира равнотежне влажности у завршним фазама сушења (Мајка *et al.* 2005). Другим речима, не може се приписати равномерности циркулације ваздуха. Доказ за ово је и да није утврђена корелација између података о брзини ваздуха и коначне влажности са истих мерних места.

5. ЗАКЉУЧЦИ

Измерене брзине циркулације ваздуха су значајно мање (чак и до скоро три пута) у односу на оптималне. Последица овога је смањење капацитета инсталације у конвенционалним коморама за сушење резане грађе, односно продужавање трајања процеса сушења, а самим тим и повећање потрошње енергије (топлотне и

електричне) што резултује повећањем цене коштања сушења. Било би неопходно променити конструкцију вентилатора на начин да се елиминишу ови недостаци који битно утичу на технологију и економичност сушења резане грађе.

Резултати указују да је равномерност циркулације ваздуха у испитиваним коморама прилично добра, нарочито по ширини коморе. Посматрано по висини, констатовано је да је брзина циркулације ваздуха мања у сложајевима ближим међутаваници. Значајне разлике у брзинама циркулације по висини могуће је смањити убацивањем усмеривача ваздуха.

Није установљена корелациона веза између равномерности брзине циркулације ваздуха и униформности коначне влажности. Једноличност коначне влажности може се, пре свега, приписати продуженом трајању сушења на крају процеса.

Напомена: Рад је Финансиран средствима Министарства просвете и науке, а рађен у оквиру пројекта ТР 31041 „Шумски засади у функцији повећане пошумљености Србије”)

ЛИТЕРАТУРА

- Allegreti O., Negri M. (2000): *Analysis and improvement of a conventional kiln dryer: A case of study*, In Proceeding of COST E15 Workshop, Advances in wood drying, Sopron, Hungary (292)
- Klitzke R.J., Batista D.J. (2008): *Study of the consumption of electric energy in the kiln drying of wood using a converter of frequency*, Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology, Concepción, Chile
- Lamb F.M. (2002): *The Important of Air Velocity Drying – How air speed trough the kiln affect lumber seasoning*, Woodweb inc.
- Majka J., Widlak H., Skrobiszewaki W. (2005): *The effect of fan speed on the drying of timber in kiln dryers*, Annals of Warsaw Agricultural Universiti – SGGW, Forestry and Wood Technology 57, (21-26)
- Riepen M., Paarhuis, B. (1999): *Analysis and optimization of the airflow distribution in Convection Kilns*, In Proceeding of COST E15 Workshop, Edinburgh, Scotland
- Salin J.G. (2005): *The influence of some factors on the timber drying process, analyzed by a global simulation model*, Maderas. Ciencia y tecnología 7(3): 195-204
- Simpson W. T. (1997): *Effect of air velocity on the drying rate of single eastern white pine boards*. USDA Forest Service, Research Nore FPL-RN-266
- Steiner Y. (2008): *Optimizing the air velocity in the industial wood drying process*, Department of Ecology and Natural Resource Management, Norwegian University of Life Sciences
- Wengert E.M. (2006): *Principles and Practices of Drying Lumber*, Virginia Polytechnic Institute and State Blackburg, Lignomat, USA

Branko Kolin
Goran Milić
Igor Golić

VELOCITY AND UNIFORMITY OF AIR CIRCULATION IN CONVENTIONAL KILNS FOR SAWN TIMBER

Summary

This paper presents the results of measurements of the velocity of air circulation in two installations of conventional kilns with similar characteristics. The research was conducted in order to determine the velocity and uniformity of air circulation per height and width of the chambers, as well as to find out if there is a correlation between the uniformity of air circulation and uniformity of final moisture content in timber. During the drying of spruce (*Picea abies* L.) timber with a nominal thickness of 24 mm, the results in all six batches showed that the velocity decreases from the floor to the kiln ceiling. The measurements in six batches revealed that the velocity of air circulation ranged from 0.8 - 1.2 m · s⁻¹. The statistical analysis showed that there were no significant differences in the velocity either per width or height of the chambers. However, the measured air circulation velocities are about three times lower than the optimal ones. This directly prolongs the process of drying, which in turn reduces the capacity of the installation, increases heat and electricity consumption, and thus increases the price of drying. The impact of the velocity of air circulation on the uniformity of final moisture content in timber was not found. This paper provides recommendations for manufacturers of this type of installation that could contribute to the improvement of the conventional kiln drying of wood.